



TITLE:

# 実応用電磁界有限要素解析のための 高性能線形ソルバに関する研究( Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

仙波, 和樹

---

CITATION:

仙波, 和樹. 実応用電磁界有限要素解析のための高性能線形ソルバに関する研究. 京都大学, 2015, 博士(情報学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19127>

RIGHT:

( 続紙 1 )

京都大学	博士（情報学）	氏名	仙波 和樹
論文題目	実応用電磁界有限要素解析のための高性能線形ソルバに関する研究		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、モータ、発電機、変圧器などの製品設計に不可欠なツールとなっている有限要素法を用いた低周波電磁界解析を対象に、その中核である大規模な連立一次方程式を求解する線形ソルバの高速化手法を、実用的解析モデルに基づいてさまざまな角度から論じたものである。本論文では、第1章で電磁界解析、有限要素法、および線形ソルバについて概説しつつ、関連する先行研究を本論文で述べている研究と対比して論じ、研究目的と第2章以降の内容を明らかにしている。第2章では本論文で扱う連立一次方程式を、マクスウェル方程式などの基礎方程式に有限要素法を適用して導出するとともに、その求解法として採用した前処理付きの共役勾配法（CG法）の基本的なアルゴリズムとその高性能化のための課題を明らかにしている。</p> <p>続く第3章から第5章が本論文の中核であり、A-法と呼ばれる定式化によって得られる連立一次方程式の求解方法を、CG法の前処理を工夫することで高速化する三つの技術について、特に産業界で用いられる実的な解析対象に基づき提案・評価している。まず第3章では、代数マルチグリッド法（AMG法）を前処理として用いるAMG-CG法を対象に、電磁場解析用に提案されていた従来の粗グリッド生成法（コースニング法）の問題点を明らかにして新たな方法を提案するとともに、2種類のスムージング法を解析目的に応じて使い分ける方法も提案している。これらの提案に基づくAMG-CG法を2種類のモータの解析に適用し、従来のコースニング法によるものや、前処理として一般的な不完全コレスキー分解（IC分解）を用いたICCG法によるものを、ともに上回る性能が得られることを示している。</p> <p>第4章と第5章では視点を変えてIC分解前処理に着目し、実的な問題に対する収束性と反復効率に優れた線形ソルバについて論じている。第4章では、近年提案されている二つのIC分解前処理法が、収束性と反復効率の観点でトレードオフを有することを解析的に論じ、実的な問題に対してどちらの方法を用いるかを決定する指標を提案している。また2種類のモータと2種類の発電機の解析を対象に、提案指標で最善と判断される前処理法を用いることで、従来のICCG法を上回る性能が得られることを実証している。また第5章では、マルチコアプロセッサを用いたICCG法のスレッド並列処理を、未知数の順序を入れ替えることで効率化する代数マルチカラーリオーダーリング法が、解析対象に電気回路が含まれる場合には収束性を著しく劣化させることを解析的に論じ、新たなリオーダーリング法を提案している。また2種類のモータと変圧器の解析を対象に、提案法が収束性を大幅に改善することを実証するとともに、従来の並列化手法の一つであるLocalized ICCG法に対する優位性も示している。</p>			

注) 論文内容の要旨と論文審査の結果の要旨は1頁を38字×36行で作成し、合わせて、3,000字を標準とすること。

論文内容の要旨を英語で記入する場合は、400～1,100 wordsで作成し  
審査結果の要旨は日本語500～2,000字程度で作成すること。

(続紙 2 )

(論文審査結果の要旨)

有限要素法による低周波電磁界解析は、モータ、発電機、変圧器などの機器の性能・効率の向上や設計期間の短縮のために、不可欠なツールとして産業界で広く用いられている。たとえば、機器の構成部品材料や形状を細かく調整する試行を多数行う設計空間探索を、実際に試作品を作成することなく実施し、かつ実測では取得困難なさまざまな物理量を数値的に求めて設計品質を評価できることが、電磁界解析ツールの優れた効用の一つである。このような解析を高精度に行うためには、有限要素法による離散化で用いるメッシュを細かくすることが必要となるが、これは解析ツールが扱う問題が大規模になることを意味する。その結果、解析に要する時間、とくに中核的な処理である連立一次方程式の求解時間が増加し、設計空間探索などのために多数の解析を実施することが困難となる。そこで連立一次方程式の求解性能の向上、特に電磁界解析では主流となっている前処理付きCG法の性能向上が求められている。

このような背景のもとで、本論文では産業界での実応用問題から導かれる連立一次方程式を対象として、実際に有効な高速化手法の提案や、先行研究で提案されている手法の選択的適用について論じている。具体的には、電磁界解析では一般的な辺要素有限要素法により導かれる連立一次方程式、特にA-法と呼ばれる定式化によって得られる方程式の求解性能を、CG法の前処理にさまざまな工夫を施すことにより、収束性と反復処理性能の両面で向上させることを目的とした研究について述べている。第3章ではAMG-CG法について議論し、従来の粗グリッド生成法の問題点に対する改良法と、無回転場成分に配慮したスプーザの選択的適用法とを提案し、ICCG法を上回る性能が得られることを示している。また第4章では近年提案されている2種類の改良型ICCG法について議論し、これらの選択的適用のために本論文で提案した指標が有効に機能することを実証している。第5章ではICCG法の並列計算に関して議論し、従来法であるLocalized法よりも収束性の観点で優位とされているリオダリング法が、回路を有する実応用問題には有効でないことを明らかにしつつ、この問題に対処する新たな手法を提案して有効性を実証している。

以上のように本論文は、低周波電磁界解析から導かれる連立一次方程式の求解について、CG法の前処理の改良を三つの観点から詳細に議論するとともに新たな手法の提案を行い、かつ実応用問題に対して高い性能が得られることも実証している。したがって連立一次方程式の求解法の分野での学術的な貢献度が高く、また実用的な電磁界解析の高速化という効果も優れており、博士(情報学)の学位に値するものと判定した。また、平成27年2月20日に論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。

注) 論文審査の結果の要旨の結句には、学位論文の審査についての認定を明記すること。更に、試問の結果の要旨(例えば「平成 年 月 日論文内容とそれに関連した口頭試問を行った結果合格と認めた。」)を付け加えること。

Webでの即日公開を希望しない場合は、以下に公開可能とする日付を記入すること。  
要旨公開可能日： 年 月 日以降